1991年度 大韓醫用生體工學 春季 學術大會 論文集 91/5

노치 잡음 마스킹 방법에 의한 청각 필터의 특성에 관한 연구

김 영훈 ,박 광석
서울대학교 의과대학 의공학교실,공과대학 의공학 협동과정

A study on the estimation of auditory filter shape by notch noise masking

Young-Hoon Kim , Kwang Suk Park
Dept.of Biomed.Eng., Seoul National Univ.

Abstract

In this study, peripheral auditory system has been modeled as a filter bank of overlaping bandpass filters, and auditory filter shape has been estimated by notch noise masking. The filter was centered at 1kHz, and noise level was set to 40dB SPL. Masker noise was generated by summing sinusoidal functions with random phase for very steep skirts. To estimate threshold we used two alternative forced choice with 500 msec of duration. We measured threshold with notch width at 0.05,0.1,0.2,0.3,0.4 and 0.5. The filter was asymmetric with steeper upper branch and its ERB was 168 - 192 Hz.

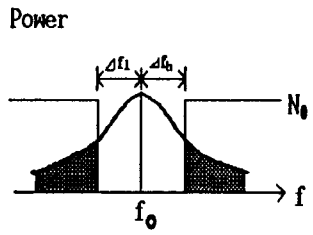
I. 서론

달팽이관(cochlear) 내부의 유모세포(Hair cell)가 손상되어 청력을 상실한 신경성 청각 장애자들에게는 전기자극을 통해서 인공적으로 그 기능을 회복시키는 방법을 사용하고 있다. 이때 고려되는 사항들은 전극의 삽입위치,전극의 수, 그리고 전기자극의 형태 등이 된다. 이러한 사항들을 결정하기 위해서는 정상적인 달팽이관 내부에서 일어나는 주파수 선택성에 대한 메카니즘과 그 이후의 중추 신경계에서의 소리자극의 인식과정에 대하여 연구가 선행되어야 한다.이러한 외부 소리자극의 인식과정에 대한 연구는 신경 생리학(Neurophysiology),정신 생리학(Phychophysiology)등의 분야에서 다양한 방법을 통하여 접근을 하고 있으며 대부분의 경우 달팽이관 에서 일어나는 자극의 부호화와 부호화된 신호의 해석에 그 촛점을 맞추고 있다. 달팽이관은 여러개의 중첩된 bandpass filter 로 생각되고 있다[1]. 이때 각각의 filter의 모양은 주파수의 선택성 및 자극의 부호화와 밀접한 관계가 있으며 이들 filter의 특성은 인공 청각장치 설계에 중요한 요인이 된다. 본 논문에서는 1kHz tone 에대한 auditory filter shape을 구해 보고 자 한다.

II. 청각 filter 의 주파수 특성 결정

청각 filter 의 특성을 결정하는 방법은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 그 하나는 동물 실험을 통하여 달팽이관 내부의 한 특성 주파수 (Characteristic frequency,CF)영역에 전극을 꽂아 외부 소리자극의 형태에 따른 활동전위를 측정하여 청각 신경의 주파수 응답을 얻고, 이로 부터 CF 를 중심으로 하는 filter 모양을 결정하는 것이다. 다른 하나는 특정한 test tone 에 대하여 masking threshold 를 측정하여 이로부터 fliter 의 모양을 결정하는 것이다. 후자는 다시 masking material 에 따라 white noise,low passed noise, high passed noise ,notch noise ,ripple noise등 으로 나뉘고, 이들은 다시 signal tone 의 presentation 방법에 따라 backward masking, forward masking,simultaneous masking 으로 나눌 수 있다.이러한 masking 형태에 따라 filter 모양도 약간씩 차이를 보이게 된다. Masking threshold를 측정하여 fliter 모양을 결정할때는 기본적으로 다음과 같은 몇 가지 가정이 있어야 한다. 1) fliter는 자극 tone에 중심이 위치한다.2) 가장 좋은 S/N 이되는 fliter 로 듣는다. 그러나forward나 backward의경우 masker와 tone 이 동시에 전달되지 않기 때문에 lateral suppression 효과를 알 수 없고 notch noise 외의 방법에서는 filter 가 비 대칭일

경우 중심이 tone 에 위치하지 않는 경우가 생긴다. Power spectrum model 에서 자극의 문턱치는 filter 를 통과 하는 noise의 양에 비례한다 이러한 관계를 수식으로 나타내면 다음과 같다.



$$Ps = K \int_{-\infty}^{\infty} N(f)W(f)df$$

Ps : signal threshold power

K: constant

N(f): masker spectrum

W(f): filter shape

그림 - 1 Power spectrum model

여기서 K는 소리를 듣게되는 최소 SNR이 되며 이 값은 auditory system 의 효율을 나타낸다. Filter의 모양을 나타내는 함수는 Gaussian, exponential, polynomial등의 시도가 있었으나 청각 신경의 동기곡선이나 그 밖의 생리적인 관찰자료에 의하면 filter는 중심이 둥근 모양을 갖는 exponential 형태로 생각되고있다. 그러므로 filter shape W(f) 는

$$W(g) = (1-r)(1+Pg)\exp(-Pg) + r \qquad 식\ (2)$$
$$g = |f-fo|/fo$$

로 가정 할 수 있다[2]. 여기서 fo 는 중심 주파수 이고 P는 skirt의 slope를 결정하는 변수가 되고, 이때 equivalent rectangular bandwidth 는 4fo/P가 된다. r은 filter의 dynamic range를 결정한다. 이러한 W(p,r) model 에서 중심 주파수에서의 거리를 변수로 좌우 비대칭을 수용하려면 low branch 와 upper branch에 대하여 P값을 달리하여 문턱치를 예측할수 있다. 이때 식 (1) 은

$$Ps = K \int_{-\infty}^{fo-f} N(f)W(f)df + K \int_{fo+f}^{\infty} N(f)W(f)df$$

식 (3)

여기서 N(f) = No 라고 하면

$$Ps = KNo \int_{-\infty}^{fo-f} W(f)df + KNo \int_{fo+f}^{\infty} W(f)df \qquad 식\ (4)$$

III.실험 방법

Masker 는 notch noise를 사용하였다. Notch noise masker 는 다른 masker 형태보다 초기의 가정중 filter 의 중심이 signal 의 주파수와 일치해야하는 가정을 잘 만족한다. 이러한 가정이 잘 맞지 않을경우 subject가 filter의 중심을 이동해서 듣는 off frequency listening현상이 나타난다. Notch noise 의 폭은 (|f-fo|/fo) 0.05, 0.1, 0.2, 0.3,0.4,0.5 의 6 가지 경우로 하여 각각의 경우 문턱치를 측정 하였다. 문턱치의 결정 방법은 그림과 같이 연속된 2개의 test tone

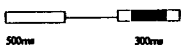


그림 - 2 Simutanuous msaking (2AFC)

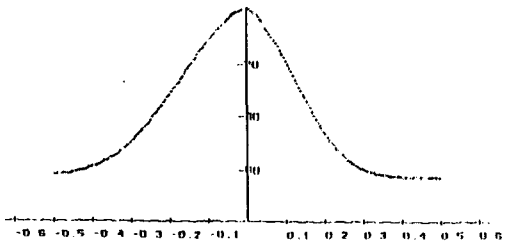
block을 들려주되 2개의 block 중 한곳에 signal tone을 동시에 들려준다.각각의 block 은500 msec duration 이고 간격은 500 msec ,signal 은 300 msec duration 이다.이때 subject는 signal이 섞여있는 block을 선택하도록한다 (Two-alterantive forced choice). Masker level 은 40dB SPL (re 20 uPa)로 고정하고 초기 signal power 는 threshold 보다 충분히 높게 시작한다. Subject가 연속해서 2번 정답을 맞추면 signal power 를 3dB 낮추고 ,반대로 연속해서 2번 틀리면 3dB 올리는 것을 반복하여 16번의 전환점이 생길 때 까지 반복하여 최후의 12개의 전환점을 평균하여 threshold로 삼는다. 이렇게 하여 구한 실험값과 식(1),식(2) 로 부터 예측한 문턱치와의 오차를 최소로하는 filter 변수를 구한다. 이때 계산을 간단히 하기 위하고 실험의 정확성을 위해 notch noise 가 매우 steep한 skirt를 가져야하는데 10kHz 로 sample된 2Hz 간격의 sinusoidal function 과 random number generator를 이용하여 원하는notch width를 갖고 steep한 skirt를 갖는 masker noise를 만들 수 있다. 이렇게 만들어진 masker와 signal을 D/A 변환기 와 앰프를 사용하여 headphone를 통하여 들려준다. 이때 양쪽귀에 동시에 들려준다.

IV.결과 및 고찰

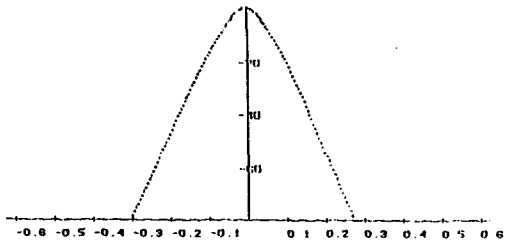
3명의 정상인 귀를 가진 subject (YH,YJ,JY)를 대상으로 실험을 하였다. 각각의 filter 모양은 그림 3과 같다. 일반적으로 noise level이 커질수록,중심 주파수가 커질수록 filter의 passband는 커진다. 1kHz signal,40dB noise level에서는 약 170Hz 의 ERB(equivalent rectangular bandwidth)를 갖는다고 알려져 있다. 이번 실험에서는 YH,YJ,JY 각각 192.04,169.21,168.04의 ERB를 보였다. ERB는 사람마다 또 당시의 심리적인 상태에 따라 약간씩의 차이를 보이므로 비교적 정확한 값을 보임을 알 수 있다. Filter 의 대칭성에 대하여 여러가지 결과가 보고되고 있으나 대부분 40dB - 50dB에서는 대칭을 유지하다가 noise level이 커지면upper branch가 steep 해지는 현상을 나타내고있다.이러한 대칭성에 대한 특성은 또한 중심 주파수에따라서는 더욱 다양한 현상아 발표 되고 있다.이번 실험에서는 3명의 subject 모두upper branch 가 더 steep 한 특성을 보였으며그 차이는 ERB가 가장 넓은 YH가 가장 크게 나타났다. 좀더 정밀한 실험을 위해서는 noise level 과 중심 주파수를 다양하게 하고 좀더 많은 subject 에대하여 실험을 해야한다.Noise generation 과 presentation상에 오차를 유발할 수 있는 요인들이 있으므로 이에 대한 수정이 필요하다고 생각 된다.한가지 실험상의 문제점은 notch 폭이 0.0일때 subject의 문턱치가 오히려 낮아지는 현상이다. 이현상은 steep한 notch noise 를 만들기 위한 sinusoidal functions summing과정에서 유발되는 subjsect 현상 이다. 이번 연구에서는 이를 제외하고 filter 모양을 구했으나 앞으로 이에 대한 보완이 필요하다고 생각한다.

V.결론

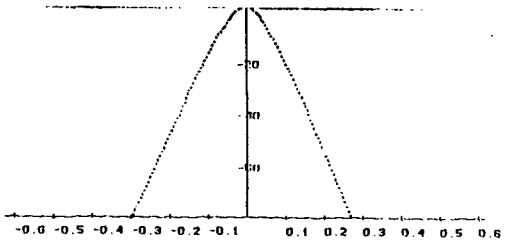
이번 실험결과는 이후의 인공 청각 장치 개발에서 삽입될 전극의 설계와, 자극의 형태를 결정하는 기초자료로 이용될수있다. 이 결과와 더불어 동물 실험을 통하여 청각 신경의 부호화 과정의 연구가 수행되면 이 두가지 결과로 부터 인공 청각 장치 전체를 설계할 수 있다.



Filter shape of subject YH.



Filter shape of subject YJ.



Filter shape of sunject JY.

그림 - 3

VI.참고 문헌

[1] C.W Parkins IEEE Eng.Med.and Bio. magazion 2 (1983)

[2] Brin C.J.Moore and B.R Glasberg "Formular describing frequency selectivity as a function of frequency and level their use in calculating excitation patterns" Hear. res. 28 (1987)

[3] Harvey Fletcher "Auditory pattern " Rev.Mod.Phy 13 (1940)

[4] Brin C.J Moore and B.R Glasberg J.Acoust.Soc.Am 74 (1983) "Sugested formular for calculating auditory filterbandwidths and excitation patterns"

[5] Brin C.J Moore and B.R Glasberg
J.Acoust.Soc.Am 88 (1990)
" Auditory filter shape low center frequency"
[5] R.D.Patterson J.Acoust.Soc.Am 59 (1976)
" Auditory filter shape derived with noise stimuli "
[6] R.D.patterson J.Acoust.Soc.Am 67 (1980)
"Off frequency listening and auditory - filter asymmetry"